

CrossMark
click for updates

대한치과재료학회지 43(4) : 299-306, 2016
 ISSN:2384-4434 (Print); 2384-3268 (Online)
 Available online at <http://www.kadm.org>
<https://doi.org/10.14815/kjdm.2016.43.4.299>

불소 방출성 수복재의 불소유리량, 표면경도 및 세포독성 평가

이명진, 김광만*

연세대학교 치과대학 치과생체재료공학교실 및 연구소, BK21 플러스 통합구강생명과학 사업단

〈Abstract〉

A Study on the Fluoride Release, Microhardness and Cytotoxicity of Fluoride Releasing Restorative Materials

Myung-Jin Lee, Kwang-Mahn Kim*

Department and Research Institute of Dental Biomaterials and Bioengineering, College of Dentistry, Yonsei University, 50-1 Yonsei-ro, Seodeamun-gu, Seoul 03722, Republic of Korea, BK21 PLUS Project, Yonsei University College of Dentistry, Seoul, Republic of Korea

The objective of this study was to examine fluoride release, microhardness and cytotoxicity of three different types of restorative materials; giomer (Beautifil II), composite resin (Filtek™ Z250) and glass ionomer (Fuji Filling LC). Samples were prepared as disk-shaped specimens with diameter of 10 mm and thickness of 1 mm. Fluoride release was measured using pH meter (920A, Orion, Boston, USA) every 24 hours for the first 7 days followed by measurement every week until the 28th day. The Vickers hardness measurement was carried out for the microhardness, while *in vitro* cytotoxicity test of agar diffusion test was carried out according to ISO 10993-5 and ISO 7405. The results showed that microhardness of Filtek™ Z250 was the highest, followed by Beautifil II, and Fuji Filling LC, in order. All groups, except Filtek™ Z250 released most amount of fluoride during first 24 hours and the release level was decreased over time. Cytotoxicity test indicated that all experimental materials were mildly toxicity. This study confirmed the variability of fluoride release, microhardness and cytotoxicity in these restorative materials and therefore such features should be considered in clinical application.

Key words: Fluoride releasing materials, Fluoride release, Microhardness, Cytotoxicity

1. 서 론

심미 수복재에 대한 관심과 수요가 증가하고 있는 가운데 여전히 지적되고 있는 문제점 중 하나는 이차 우식으로 인한 수복치료의 실패이다. 이에 이차 우식의 발생을 억제할 수

있는 수복재가 필요하게 되었고, 이중 대표적인 것이 불소를 유리하는 수복재이다(Wiegand 등, 2007). 이는 치아의 탈회를 막고 법랑질을 재광화시켜 우식 발생을 억제하고 초기 우식의 재석회화를 촉진하는 작용이 있어 이차 우식을 예방하기 위해 불소 유리가 가능한 수복물들이 널리 사용되어져 왔다(Valpio, 1993). 불소이온이 다양한 기전을 통해 우식 발생을 억제하고 초기우식의 재석회화를 촉진한다는 것은 이미 많은 연구들에서 보고되고 있다(Eichmiller 등, 1998; Yaman 등, 2004). 이에, 불소를 유리하며 일정한 강도를 가지는 수복재를 개발하려는 노력들이 지속되어 왔다(Dionysopoulos 등,

* Correspondence: 김광만 (ORCID ID: 0000-0002-5235-0294) (03722) 서울시 서대문구 연세로 50-1 연세대학교 치과대학 치과 생체재료공학교실 및 연구소
 Tel: +82-2-2228-3082, Fax: +82-2-364-9961
 E-mail: KMKIM@yuhs.ac

Received: Aug. 4, 2016; Revised: Dec. 9, 2016; Accepted: Dec. 9, 2016

2003).

불소를 유리하는 대표적인 수복재로 글라스 아이오노머 시멘트가 있으며 생체 친화성이 우수하고 구강 내에서 불소를 유리하고 재충전할 수 있는 장점을 지니지만 복합 레진에 비해 수분에 민감하고 조작성, 심미성 등이 떨어지며 초기 물성이 취약한 한계가 있다(Williams 등, 2001).

이와 같은 단점들을 상호 보완하기 위하여 다중산 강화 복합 레진인 컴포머가 개발되었다(Andersson-Wenckert 등, 1997). 컴포머는 저농도 불소 유리 광중합형 복합레진으로서 산성화된 이중 기능성 레진 단량체와 fluoroalumi-nosilicate glass 입자로 구성되어 구강 내 수분을 흡수하여 이차적인 산-염기 반응의 결과로 불소를 유리한다고 알려져 있다(Harry FA, 2003). 이는 복합 레진에 버금가는 심미성, 조작성, 용이성, 양호한 표면 연마성을 가지며 불소 유리 능력도 가지고 있다(Çehreli, 2000). 하지만, 전통적인 글라스 아이오노머 시멘트에 비하여 낮은 불소 유리 양상을 보이며(Millen, 1998), 복합 레진보다 낮은 결합강도, 높은 중합수축률 등이 단점으로 지적되었다(Tate, 2000).

따라서 불소를 유리하면서 물성의 저하가 없는 재료를 개발하기 위하여 Roberts 등은 pre-reacted glasss ionomer(PRG) 필러 기술을 개발하였고, 이를 기반으로 하여 자이오머라는 수복 재료가 소개되었다(Roberts, 1999). 자이오머는 PRG technology를 이용한 불소유리 광중합 레진 제재 Glass ionomer와 Polymer의 합성어이다(Ikemura 등, 2003). Fluoro-aluminosilicate glass filler와 폴리아크릴산 사이의 산-염기 반응을 통해 만들어진 실리카겔을 동결 건조 처리하고 가공하여 실란처리 후 PRG 필러를 만들어 이를 레진 기질 내에 포함시켜 제조한다(Ikemura, 2008). 기존의 양대 심미 수복 재료인 복합 레진과 글라스 아이오노머의 단점을 보완할

목적으로 자이오머는 복합 레진의 물리적 성질과 글라스 아이오노머의 불소 유리 능력을 동시에 가지고 있는 새로운 형태의 치과용 수복 재료로 개발되어 널리 사용되고 있다(Itota, 2004). 그러나, 자이오머는 임상 활용도에 비해 이를 뒷받침할만 실제 불소 방출 수준과 정도뿐만 아니라 재료의 생물학적 친화성에 관한 연구가 아직까지 미흡한 실정이다.

이에 본 연구의 목적은 기존 임상에서 널리 쓰이고 있는 자이오머의 시간 경과에 따른 불소 유리량, 표면경도 및 세포 독성을 측정하고 기존에 소개된 불소 유리 수복재료인 글라스 아이오노머와 비교하여 새로 소개된 수복재료로서의 자이오머의 임상적 유용성을 평가하는 데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 재료

본 연구에 사용된 재료는 대표적인 심미수복용 치과재료 3종을 선택하였고, 실험군으로 자이오머 Beautifil II(Shofu Inc., Japan)와 글라스 아이오노머(GC Co., Japan), 대조군으로는 충전용 복합 레진 Filtek™ Z250(3M ESPE, USA)을 선택하였다(Table 1). 제조사의 지시사항에 따라 작업하였으며 중합을 위해 광조사기(Elipe S10, 3M ESPE, Seefeld, Germany)로 600 mW/cm² 수준의 광도를 유지한 상태에서 40초간 광중합을 시행하였다.

2. 연구 방법

1) 시편 제작

시편 제작을 위해 내경 10 mm 1 mm의 원판형 아크릴

Table 1. Test materials used in this study

Product	Code	Type	Composition	Manufacturer
Beautifil II	BF	Giomer	BisGMA, TEGDMA, fluoroboroaluminosilicate glass	Shofu Inc., Japan
Filtek™ Z250	FZ	Composite resin	BisGMA, UDMA, BisEMA, zirconia/silica filler	3M ESPE, USA
Fuji Filling LC	FL	Glass Ionomer	Polyacrylic acid, distilled water, initiator, aluminosilicate glass, HEMA, UDMA	GC Co., Japan

BisGMA : Bisphenol-A-glycidyl methacrylate, TEGDMA : Triethylene glycol dimethacrylate, UDMA : Urethane dimethacrylate, BisEMA : Ethoxylated bisphenol-A-glycidyl methacrylate, HEMA : 2-hydroxyl methacrylate

몰드를 준비하였다. Slide glass에 polyester film을 놓고 그 위에 몰드를 올린 뒤 재료를 주입하고 기포가 생기지 않게 조금씩 충전한 후, polyester film과 slide glass를 덮어 과잉 재료를 제거하였다. 그 후 상, 하면에 광중합을 시행하여 각 군당 5개씩 시편을 제작하였다.

2) 불소 유리량 측정

플라스틱 용기에 각각 2 ml 탈이온 증류수를 채운 후, 시편을 넣고 parafilm으로 밀봉한 후 37℃로 고정된 항온기에 보관하였다. 불소농도 측정을 위하여 pH/Ton meter(920A, Orion, Boston, USA)에 fluoride ion specific electrode(96-09, Orion, Boston, USA)를 부착시킨 다음 0.1 ppm, 1 ppm, 10 ppm, 100 ppm 불소 표준 용액으로 농도 보정을 시행하고 시편으로부터 유리된 불소 이온이 담겨있는 용액에 동량의 TISAB II 용액을 첨가하여 용액을 안정화시킨 후 불소 이온 농도를 측정하였다. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 21 및 28일간 보관 후 유리된 불소량을 측정하였으며, 매 측정 후 용액은 새로운 증류수로 교환하였다.

3) 표면 경도 측정

비커스 미세경도기(DMH-2; Matsuzawa Seiki, Japan)에 시편을 장착하고 측정부위에 200g의 하중을 20 초간 적용하였다. 시편에 형성된 다이아몬드형 압흔의 장축길이를 측정하여 미세경도(Vicker's Hardness Number, VHN)를 계산하였다. 또한, 수분이 표면 경도에 주는 영향을 평가하기 위하여 시편을 37℃ 증류수에서 5일간 침적시킨 후, 표면 경도를 측정하여 비교하였다. 각 시편 당 3 부위를 측정하여 평균치를 산정하였다.

4) 세포 독성 평가

ISO 10993-5에 따라 한천 중층법을 이용하여 세포독성을 평가하였다. petri-dish에 L-929 세포 부유 액 2.5×10^5 cells/ml을 10 ml를 첨가하여 37℃, 5% CO₂ incubator에서 24시간 동안 배양하였다. 배양액의 단층 배양 상태와 세포의 형태를 현미경으로 확인한 후 배양액 제거 후 2X RPMI 1640배지와 3% 한천용액을 동일한 비율로 섞은 Agar medium을 10 ml 첨가하였다. 고체화된 Agar medium에 neutral red 염색용액을

을 주입하고 빛이 차단되게 밀폐하여 보관 후, 염색약을 제거하고 시편을 조심스럽게 위치하였다. ISO 10993-12의 제시에 따라 양성 및 음성 대조군은 라텍스 고무와 폴리에틸렌 필름으로 설정하였으며, 각각 직경 5 mm로 잘라 고압멸균소독 후 시험에 사용하였다. 24시간 동안 37℃, 5% CO₂ incubator에서 배양하였다. Table 2, 3에 따라 탈색지수 및 용해지수를 평가하였고, 이를 4번씩 반복 실험하였다.

Table 2. Zone index criteria

Index	Description of zone
0	No detectable decolorization zone around or under specimen
1	Zone limited to area under specimen
2	Zone not > 0.5cm beyond specimen
3	Zone not > 1.0cm beyond specimen
4	Zone > 1.0cm beyond specimen, but not involving entire dish
5	Zone involves entire dish

Table 3. Lysis index criteria

Index	Description of zone
0	No observable lysis
1	Up to 20% of zone lysed
2	20-40% of zone lysed
3	40-60% of zone lysed
4	60-80% of zone lysed
5	over 80% lysed within zone

5) 통계 분석

각 재료에 따른 기간별 불소 유리량 및 미세경도의 측정치를 SPSS 21.0(SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A.) 프로그램을 이용하여 통계 분석하였다. 유의 수준은 0.05로 설정하였고, One-way ANOVA로 유의성을 검정하고 Tuckey' test로 사후 검정을 시행하였다.

Table 4. Results of fluoride release (ppm) 1 to 28 days (Mean±SD)

Group	1 day	3 day	7 day	14 day	21 day	28 day
BF	0.198±0.040 ^b	0.082±0.014 ^b	0.042±0.004 ^b	0.043±0.014 ^b	0.033±0.007 ^b	0.027±0.012 ^b
FZ	0.022±0.004 ^c	0.020±0.004 ^c	0.017±0.003 ^c	0.001±0.001 ^c	0.000 ^c	0.000 ^c
FL	9.081±0.358 ^a	2.890±0.423 ^a	1.459±0.151 ^a	1.446±0.169 ^a	1.301±0.118 ^a	1.170±0.180 ^a

*values in columns having the same letter were not significantly different($p>0.05$)

III. 결 과

1. 불소 유리량 측정 결과

각 군의 불소 유리량 측정결과를 Table 4에 나타내었다. 복합 레진인 FZ군은 다른 군에 비해 유의하게 낮은 불소 유리량을 나타내었고, 자이오머인 BF군이 글라스 아이오노머군인 FL군보다 낮은 측정치를 나타내었다. 불소 유리량은 FZ을 제외한 모든 실험군에서 첫째 날 가장 높게 측정되었고, 이후 급격히 감소하여 7일 이후부터는 완만하게 유지되는 양상을 보였다. 글라스 아이오노머에서 가장 불소 유리량이 높게 측정되었고 복합 레진에서는 측정 기간 내내 불소의 유리를 거의 관찰할 수 없었다.

2. 표면 경도 측정 결과

증류수에 침적하기 전 표면 경도는 FZ군이 79.64로 가장 높았고, BF군이 71.1로 다음으로 높았으며 FL군이 35.68로 가장 낮았다. 증류수 침적 후의 표면 경도 역시 FZ군이 74.14로 가장 높았고, BF군이 63.52로 다음으로 높았으며, FL군이 31.84로 가장 낮았다(Table 5).

표면 경도는 각 군간 유의한 차이를 보였다. 전반적으로 증류수 침적 후에 표면 경도가 다소 감소되는 양상을 보였으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).

Table 5. Results of Vickers microhardness (VHN) test (Mean±SD)

Group	Dry	Aged
BF	71,107±3,921 ^b	63,520±4,143 ^b
FZ	79,640±1,942 ^a	74,140±2,911 ^a
FL	35,683±2,288 ^c	31,840±2,765 ^c

*values in columns having the same letter were not significantly different($p>0.05$)

3. 세포 독성 결과

한천중층시험 후 탈색지수 및 용해지수를 Table 2, 3에 따라 평가한 결과, Figure 1과 같이 모든 시편에서 0.5cm 이하의 탈색을 보여 탈색지수 2로 나타났다. 위상차 현미경 사진에서는, 양성대조군과 같이 탈색지수 및 세포사멸지수가 큰 재료를 적용할 때 세포가 탈색되고 원형에 가까운 모양을 나타냈으며, 모든 시편에서 세포의 형태는 거의 동일했으며, 음성대

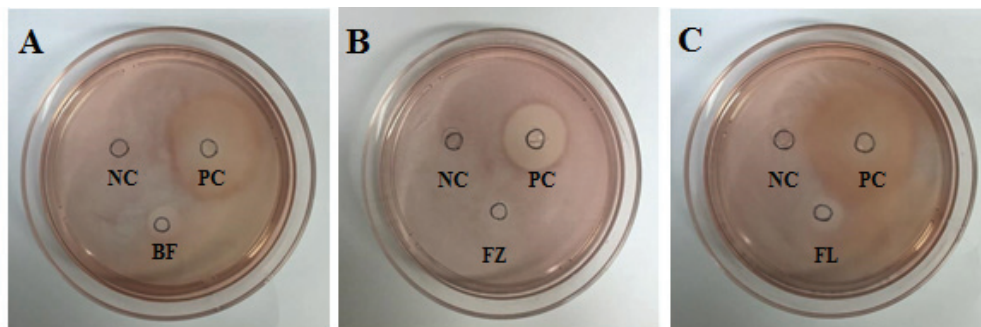


Figure 1. Decolorization zones of experimental materials in the agar diffusion test. The empty Teflon mold (NC; Negative Control), the latex sheet from the latex glove (PC; Positive Control), and experimental samples of (A)BF; Giomer, (B)FZ; Composite resin, (C)FL; Glass ionomer.

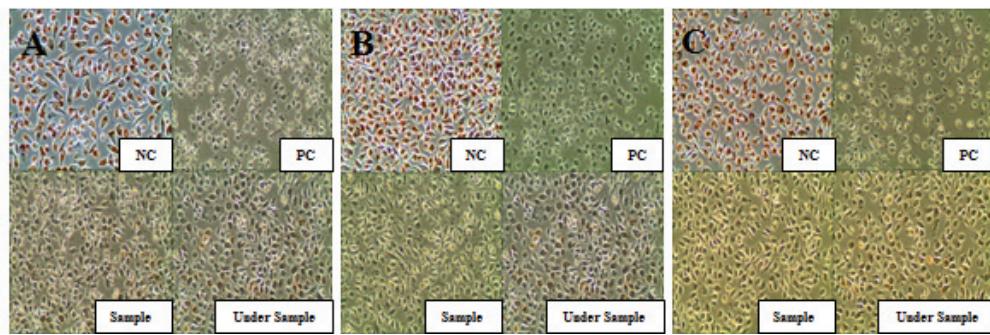


Figure 2. Cellular images of experimental materials in the agar diffusion test. The empty Teflon mold (NC; Negative Control), the latex sheet from the latex glove (PC; Positive Control), and experimental samples of (A)BF; Giomer, (B)FZ; Composite resin, (C)FL; Glass ionomer.

조균과 유사한 세포 형태를 나타내었다. sample의 탈색 부위와 sample이 놓여있던 sample 바로 아래 부위의 용해도를 관찰하였을 때 탈색 부위의 20% 이하로 용해지수는 1이었다 (Figure 2).

음성대조균과 양성대조균과 비교한 이상의 탈색지수와 용해지수의 결과에 따라 반응지수를 구하였고, 이에 따른 세포 독성도를 평가한 결과 경미(mild)한 세포 독성을 나타내는 것으로 판단되었다.

IV. 고 찰

이차 우식은 수복물의 빈번한 실패의 원인으로 이를 예방하기 위하여 수복재의 개발에 대한 노력들이 이어져 왔으며, 1990년대 초에 컴포머가 소개되어 사용되고 있으나 여전히 복합 레진보다 낮은 물성과 글라스 아이오노머보다 약한 불소 유리량으로 인해 임상적 사용에 제한이 있는 실정이다(Hattab 등, 1989; Ten Cate 등, 2004). 이와 같은 한계점을 극복하고자 하이브리드 레진계 수복재로 자이오머가 개발되었다(Yoon 등, 2010). 자이오머의 PRG 필러는 실란 처리되어 탈수된 hydrogel layer와 레진 기질 간의 coupling이 증진되며, 추가로 함유된 4-AET와 HEMA는 친수성을 띠게 하여 PRG필러로부터 이온 성분의 적절한 수화를 도와 이온의 이동을 돕게 된다. 따라서 PRG 필러는 불소 이온의 지속적인 유리와 재충전이 유리한 특성을 가지면서도 재료의 물성은 저하되지 않는 장점을 갖는다고 한다(Kim 등, 2010). Sunico 등은 자이오머

로 수복한 1급 및 5급 외동 수복물의 2년 후 임상 검사를 시행하여 80% 성공률을 보고하였고(Sunico 등, 2005), Fujimoto 등은 S-PRG 필러는 산과 접촉하게 되면 이온을 유리하고 이러한 이온들이 산과 중화반응을 한다고 보고하여 자이오머의 산중화능은 수분과 접촉시에 유리되는 이온들이 주위 pH를 증가시킴으로써 발휘된다고 보고하였으며(Fujimoto 등, 2010), Yap 등은 자이오머가 복합 레진이나 컴포머 등의 수복재보다 유의하게 높은 표면 경도를 보이며 열 순환 후에 경도가 증가됨을 관찰하였다(Yap 등, 2004).

본 연구에서는 혼합시간 및 보관 시간의 오차를 줄이기 위하여 한사람의 술자가 제조회사의 지시에 따라 실험하였으며, 그 결과로 자이오머가 글라스 아이오노머에 비해 약 2배 정도의 높은 표면 경도를 나타내었으며 복합 레진에 비해서는 통계적으로 낮은 수치였지만 유사한 결과를 나타내었다. 37℃ 증류수에 7일간 침적한 후 조사한 결과 모든 군에서 다소 감소되는 양상을 보였지만, 마찬가지로 자이오머의 표면 경도가 글라스 아이오노머의 표면 정도보다 높았다. Roberts는 기존의 불소 유리 수복재의 filler로 주로 사용된 NaF는 많은 양의 불소를 유리하지만 나트륨 이온과 불소 이온의 용출로 인해 재료 자체의 구조적 붕괴를 야기하지만 PRG filler는 hydrogel 내부에서 불소 이온과 반대 양이온의 리간드 교환을 통해 지속적으로 불소를 유리하므로 내구성이 유지되는 것이라 보고하였다(Roberts, 1999). 불소 유리량을 일주일간 매일 측정할 이유는 1일째 가장 높은 수치를 나타낸 후 급격한 감소를 보이며 1주일 후 어느 정도 일정한 유리량을 유지하기 때문이다(Cranfield 등, 1982; Swarts 등, 1984). 복합 레진을 제외한

수복재에서 불소 유리가 관찰되었고 불소 유리량은 1일째 가장 높은 수치를 나타내고 이후 급격히 감소하여 7일 이후부터는 완만한 상태로 일정 불소량이 유지되는 양상을 보였다. 여러 문헌들에서도 이와 유사한 불소 유리 양상이 보고된 바 있으며, 이번 연구에서도 이러한 양상을 확인하였다(Itota 등, 2004; Kamijo 등, 2009; Verbeeck 등, 1998). 글라스 아이오노머는 'burst effect'라 불리는 초기 중합이 이루어지고 첫 날에 나타나는 높은 불소 유리에 이은 이후 3일간의 급격한 유리량 감소와 낮은 수준으로 유지되는 불소 유리 양상을 관찰하였다. 이러한 'burst effect'는 수복 직후에는 살균 효과를 기대할 수 있지만 장기간으로는 이차 우식을 예방할 수 있는 효과를 기대하기 어렵다(Dijkman 등, 1993). Yap 등의 연구에 의하면 자이오머와 같은 불소 방출성 수복재는 상당히 미미한 불소 유리를 보였으며 2주 후부터는 불소 유리가 중지되었다고 보고되었으나, 본 연구에서 자이오머는 글라스 아이오노머보다 연구 기간 동안 유의하게 낮은 불소 유리를 보였으나 낮은 수준이지만 지속적으로 유리되는 양상을 보였다(Yap 등, 1999). 이러한 현상은 각 수복재의 초기 불소 유리량의 차이에 기인하는 것으로 생각된다. 불소 유리량이 증가하는 만큼 수복재 주위 치질에 뛰어난 항우식 효과를 나타내는지는 정립되어있지 않은 상태이다. 실제로 치질에 대한 불소의 재석회화 효과는 높은 불소 농도보다는 낮은 농도라도 지속적으로 유리될 때 훨씬 우수한 것으로 보고된 바 있다(Silverstone, 1985). 따라서, 자이오머는 낮은 불소 유리량이지만 글라스 아이오노머와 유사한 양상으로 긴 시간동안 지속적인 불소 유리량을 보이기 때문에 주변 치질에 대한 불소 유리 효과를 기대할 수 있는 것으로 사료된다. 또한, 재료의 생물학적 특성은 중요한 성질로서 대부분의 수복재는 구강 내에서 장기간 접촉하므로 임상적으로 발생할 수 있는 부작용을 미리 평가하는 것이 필요하다. 본 실험에서 사용된 한천중층법은 한천을 통해 재료가 확산되기 때문에 재료의 독성뿐만 아니라 독성물질의 확산도 평가가 가능하다. 본 연구의 세포 독성 시험 결과에서는 모든 군에서 경미(mild)한 세포 독성 양상으로 같은 정도의 세포 독성도를 보였다. 이는 이들 단량체의 상당부분이 중합이 되어 잔류 양이 적기 때문에 세포 생존도에 영향을 줄 정도가 아니기 때문이라고 사료된다. 이에, 세포독성 정도는 우려할 정도는 아니라고 생각되며 추후 연구에서 생체 내

시험을 추가로 시행하여 그 재료의 생체적합성을 좀 더 정확하게 평가하여야 할 것이다.

본 연구에서는 시편의 보관 매체를 증류수로 한정하여 사용하였다. 그러나 실제 구강 내 환경은 다양한 형태의 응력이 작용할 뿐 아니라 온도와 산도의 다양한 변화가 있으므로 *in vitro*와 *in vivo*에서의 차이의 한계를 고려하여 실험을 설계하여야 할 것으로 생각된다. 그리고 불소 유리 관찰 기간이 28일로 비교적 짧아 장기간 불소 유리 양상을 관찰할 수 없다는 한계가 있다. 또한, 불소 재충전 양상을 파악하지 못하였다. 일반적으로 초기 불소 유리가 높은 재료일수록 우수한 재충전 능력을 보이는 것으로 보고되고 있으나(Itota 등, 2004), 이를 바탕으로 결론내리는 것은 다소 한계가 있음을 고려해야 한다. 따라서 임상적으로 적용하기 위해서는 이러한 한계점들을 보완하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 자이오머의 불소 유리량, 표면 경도 및 세포 독성을 기존의 복합레진과 글라스 아이오노머 수복재와 비교 평가해 보고자 본 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 불소 유리량은 FL군 > BF군 > FZ군 순으로 높게 나타났다.
2. 표면 경도는 증류수 침적 전, 후 모두 FZ군 > BF군 > FL군 순으로 높게 나타났다($p < 0.05$).
3. 세포 독성도를 평가한 결과 세 가지 재료 모두 경미(mild)한 세포 독성을 나타냈다.

이상의 연구결과로 자이오머는 기존의 글라스 아이오노머와 유사한 불소 유리량을 보일 것으로 기대하였으나 글라스 아이오노머보다 낮은 불소 유리량을 보이지만 지속적인 유리량을 보이는 것을 관찰하였고, 복합 레진과 유사한 표면 경도를 보이는 것을 확인하였다. 이에, 임상적인 활용도를 결정하기 위해서는 보다 다양하고 발전된 방법으로 보완 연구가 필요할 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 2016년도 식품의약품안전평가원 용역연구개발 과제의 연구개발비 지원(16172미래평336)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

VI. REFERENCES

- Wiegand A, Buchalla W, Attin T (2007). Review on fluoride-releasing restorative materials-Fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. *Dent Mater*, 23:343-362.
- Valpio M (1993). Clinical aspects of restorative treatment in the primary dentition. *Swed Dent J Suppl*, 96:1-47.
- Eichmiller FC, Marjenhoff WA (1998). Fluoride-releasing dental restorative materials. *Oper Dent*, 23:218-228.
- Yaman SD, Er O, Yetmez M, Karabay GA (2004). In vitro inhibition of caries-like lesions with fluoride releasing materials. *J Oral Sci*, 46:45-50.
- Dionysopoulos P, Kotsanos N, Pataridou A. Fluoride release and uptake by four new fluoride releasing restorative materials (2003). *J Oral Rehabil*, 30: 866-872.
- Williams JA, Billington RW, Pearson GJ (2001). A long-term study of fluoride release from metal-containing conventional and resin-modified glass-ionomer cements. *J Oral Rehabil*, 28:41-47.
- Andersson-Wenckert IE, Folkesson UH, Van Dijken JW (1997). Durability of a poly acid-modified composite resin (compomer) in primary molars. a multicenter study. *Acta Odontol Scand*, 55:255-260.
- Harry FA (2003). *삼미수복 원리와 임상술식*. 서울: 지성출판사 pp. 55-92.
- Çehreli ZC, Altay N (2000). Three-year clinical evaluation of a polyacid-modified resin composite in minimally invasive occlusal cavities. *J Dent*, 28:117-122.
- Millen BJ, Abiden F, Nicholson JW (1998). In vitro caries inhibition by polyacid-modified composite resins. *J Dent*, 26:133-136.
- Tate WH, You C, Powers JM (2008). Bond strength of compomers to human enamel. *Oper Dent*, 25:283-291.
- Roberts TA, Miyai K, Ikemura K (1999). Fluoride ion sustained release pre-formed glass-ionomer filler and dental compositions containing the same. US Patent No. 5883153.
- Ikemura K, Tay FR, Kouro Y, Endo T, Yoshiyama M, Miyai K, Pashley DH (2003). Optimizing filler content in an adhesive system containing pre-reacted glass-ionomer fillers. *Dent Mater*, 19:137-146.
- Ikemura K, Tay FR, Endo T (2008). A review of chemical-approach and ultramorphological studies on the development of fluoride-releasing dental adhesives comprising new pre-reacted glass ionomer (PRG) fillers. *Dent Mater J*, 27:315-339.
- Itota T, Carrick TE, Yoshiyama M, McCabe JF (2004). Fluoride release and recharge in giomer, compomer and resin composite. *Dent Mater*, 20:789-795.
- Hattab FN, Mok NY, Agnew EC (1989). Artificially formed carieslike lesions around restorative materials. *J Am Dent Assoc*, 118:193-197.
- Ten Cate JM (2004). Fluorides in caries prevention and control: empiricism or science. *Caries Res*, 38:254-257.
- Yoon M, Kim JS, Yoo SH (2010). Changes of compressive strength and microhardness of composite resin, giomer and compomer after thermocycling treatment. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 37:438-444.
- Kim SY, Choi SC, Park JH (2010). In vitro study of demineralization inhibition effect and fluoride uptake into adjacent teeth of light-cured fluoride-releasing restoratives. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 37:288-297.
- Sunico MC, Shinkai K, Katoh Y (2005). Two-year clinical performance of occlusal and cervical giomer restorations. *Oper Dent*, 30:282-289.
- Fujimoto Y, Iwasa M, Nakatsuka T (2010). Detection of ions

- released from S-PRG fillers and their modulation effect. *Dent Mater J*, 29:392-397.
- Yap AU, Wang X, Wu X, Chung SM (2004). Comparative hardness and modulus of tooth-colored restoratives: a depth-sensing microindentation study. *Biomaterials*, 25:2179-2185.
- Cranfield M, Kuhn AT, Winter GB (1982). Factors relating to the rate of fluoride-ion release from glass-ionomer cement. *J Dent*, 10:333-341.
- Swarts MI, Philips RW, Clark HE (1984). Long-term fluoride release from glass ionomer cements. *J Dent Res*, 63:158-160.
- Kamijo K, Mukai Y, Tominaga T (2009). Fluoride release and recharge characteristics of denture base resins containing surface pre-reacted glass-ionomer filler. *Dent Mater J*, 28:227-233.
- Verbeeck RM, De Maeyer EA, Marks LA (1998). Fluoride release process of (resin-modified) glass-ionomer cements versus (polyacid-modified) composite resins. *Biomaterials*, 19:509-519.
- Dijkman GE, de Vries J, Lodding A, Arends J (1993). Long-term fluoride release of visible light-activated composites in vitro: a correlation with in situ demineralisation data. *Caries Res*, 27:117-123.
- Yap AU, Khor E, Foo SH (1999). Fluoride release and antibacterial properties of new-generation tooth-colored restoratives. *Oper Dent*, 24:295-305.
- Silverstone LM (1985). Fluoride and remineralization in clinical uses of fluoride. Philadelphia: Les & Febiger, 153-175.